

# Betões de elevado desempenho com elevado volume de cinzas volantes

Aires Camões<sup>1</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

## RESUMO

Com o objectivo de contribuir para a sustentabilidade da construção, urge reduzir a produção e o consequente consumo de cimento. Contudo, esta diminuição não deve comprometer o necessário desempenho das estruturas de betão, de forma a garantir a manutenção de períodos de vida útil suficientemente alargados. Assim, se a substituição de elevados volumes de cimento por subprodutos industriais, como é o caso das cinzas volantes, se revelar exequível, será extremamente benéfica sob o ponto de vista ecológico e ambiental.

Neste contexto, desenvolveu-se um programa experimental de forma a avaliar a possibilidade de produzir betões de desempenho melhorado, ou mesmo de elevado desempenho, fabricados com quantidades reduzidas de cimento e recorrendo à incorporação de materiais correntes, de baixo custo, comumente utilizados no fabrico de betões convencionais. As composições de betão estudadas foram produzidas com 400 kg/m<sup>3</sup>, 500 kg/m<sup>3</sup> e 600 kg/m<sup>3</sup> de ligante (cimento + cinzas volantes) e com uma quantidade de substituição de cimento por cinzas volantes fixa e igual a 60% (em massa). O seu comportamento foi caracterizado experimentalmente, incidindo na avaliação das suas principais propriedades relacionadas com a trabalhabilidade, com as resistências mecânicas e com a durabilidade.

Os resultados obtidos permitiram evidenciar que, para este tipo de betões, as exigências relacionadas com a resistência à compressão são, para a grande maioria das aplicações práticas, satisfeitas e que estes betões podem ser considerados de elevada durabilidade. Assim, é de esperar que a utilização mais generalizada deste tipo de betões permita edificar construções mais duráveis e contribuir significativamente para a sustentabilidade da construção.

## 1. INTRODUÇÃO

Actualmente, o ecossistema mundial tem vindo a ser confrontado com um problema de importância crescente e que está associado ao aumento das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera. É do conhecimento geral que a produção de cada tonelada de cimento Portland origina a libertação de cerca de uma tonelada de CO<sub>2</sub> e que a indústria do cimento contribui com cerca de 7% do total de emissões para a atmosfera. Outro impacto ambiental adverso relacionado com a indústria do cimento está relacionado com o elevado nível de consumo de energia. O consumo de energia associado ao processo de fabrico do cimento é

---

<sup>1</sup> Professor Auxiliar (aires@civil.uminho.pt)

extremamente elevado, sendo apenas superado pela produção de alumínio e de aço, atingindo valores próximos de cerca de 4 GJ por tonelada, (Malhotra e Mehta (2002)).

No entanto, os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> e o elevado consumo de energia associados ao fabrico do cimento não são os únicos problemas com que a indústria da construção se depara. O acréscimo substancial do volume de construção verificado nas últimas décadas e a insuficiente durabilidade que um número elevado de estruturas de betão armado tem revelado, originando avultadas intervenções de reparação e manutenção, provocou uma apreciável diminuição dos recursos naturais não renováveis existentes. Como estes recursos não são infinitos, é imperioso contribuir para a sustentabilidade da construção.

O betão, devido às elevadas quantidades utilizadas na construção, é um dos veículos ideais para a incorporação segura e económica de milhões de toneladas de resíduos e subprodutos industriais, como é o caso das cinzas volantes provenientes de centrais termoeléctricas. Assim, se se revelar exequível, a substituição de grandes quantidades de cimento por cinzas volantes, será altamente vantajosa sob o ponto de vista da economia, da eficiência energética, da durabilidade e dos benefícios ecológicos e ambientais em geral (Malhotra e Mehta (2002)).

A produção mundial de cinzas de carvão é estimada em mais de 700 milhões de toneladas por ano, das quais pelo menos 70% (cerca de 500 milhões de toneladas) são cinzas volantes que são adequadas e podem ser usadas como adição pozolânica em betões ou outros produtos de cimento (Mehta (1999)). Infelizmente, apenas aproximadamente 20% das cinzas volantes disponíveis mundialmente são utilizadas para o fabrico de cimento e de betão. Neste contexto, e de modo a assegurar um desenvolvimento sustentável da indústria do betão, o emprego de subprodutos pozolânicos e cimentícios deve ser encorajado e substancialmente aumentado (Malhotra e Mehta (2002)). Uma maior reutilização de cinzas volantes na indústria do betão, associada a uma substituição da dosagem de cimento contribuirá, certamente, para a redução de um importante problema de impacte ambiental. Assim, a incorporação de elevados volumes de cinzas volantes em betões é um dos meios possíveis para produzir um betão mais “amigo do ambiente”.

Pelos motivos apontados, é objectivo deste trabalho avaliar a possibilidade de produzir betões de desempenho melhorado incorporando elevado volume de cinzas volantes e que contemplem os aspectos mencionados, nomeadamente, os relacionados com a necessidade de contribuir para um desenvolvimento sustentável, com a melhoria do desempenho dos betões e com o fabrico de betões de baixo custo inicial, tornando o produto economicamente competitivo. Pretendeu-se concretizar tais premissas por intermédio do recurso à incorporação de materiais correntes de baixo custo disponíveis no mercado nacional, nomeadamente, cinzas volantes (consideradas de qualidade reduzida) e agregados correntes, utilizados conforme recebidos, sem qualquer tratamento prévio.

Nestas circunstâncias, desenvolveu-se um programa experimental contemplando o fabrico e a caracterização experimental de três composições de betão distintas, incorporando elevadas quantidades de cinzas volantes. As composições de betão estudadas foram produzidas com 400 kg/m<sup>3</sup>, 500 kg/m<sup>3</sup> e 600 kg/m<sup>3</sup> de ligante (cimento + cinzas volantes) e com uma quantidade de substituição de cimento por cinzas volantes constante e igual a 60% (em massa). O seu comportamento foi caracterizado experimentalmente, incidindo na avaliação das suas principais propriedades relacionadas com a trabalhabilidade, com as resistências mecânicas e com a durabilidade.

De modo a caracterizar o comportamento em fresco das composições produzidas, realizaram-se ensaios correntes, de abaixamento e de espalhamento. A caracterização mecânica incidiu no estudo da variação ao longo do tempo da capacidade resistente à compressão e à tracção por compressão diametral. A durabilidade das composições estudadas foi avaliada por intermédio de ensaios de permeabilidade ao oxigénio e à água, de absorção de

água por imersão e por capilaridade, de resistividade e de determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por meio de ensaios de migração em regime não estacionário.

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiais, fabrico e conservação

Como materiais constituintes das três diferentes composições de betão foram seleccionados: cimento Portland CEM I 42.5R (C), cinzas volantes (CV), areia fluvial silíciosa (máxima dimensão de 2.38 mm e módulo de finura igual a 2.53), brita granítica (máxima dimensão de 9.53 mm e módulo de finura igual a 5.75) e um superplastificante (SP).

As cinzas volantes utilizadas eram provenientes da Central Termoeléctrica do Pego, localizada em Portugal, e apresentavam um teor de inqueimados elevado. Segundo dados fornecidos pelo fabricante, a perda ao fogo desta cinzas volantes varia, em geral, entre 6% e 9%. O teor de inqueimados das cinzas volantes utilizadas neste programa foi determinado experimentalmente e atingiu o valor médio de 7.3%, o que permite enquadrar este material na categoria C da EN 450:2005. Apesar do elevado teor em carbono, estudos prévios demonstraram, pelo menos para estas CV, que o elevado teor em inqueimados não é um impeditivo do seu uso em pastas, argamassas e betões (Camões, *et al* (2002); Camões, Aguiar e Jalali (2003)).

Na Tabela 1 apresentam-se as principais características químicas do cimento e das cinzas volantes.

Tabela 1 – Composição química do cimento e das cinzas volantes.

Composição química	C (%)	CV (%)
SiO <sub>2</sub>	19.74	60.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.13	20.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.27	7.82
CaO	62.99	2.72
MgO	1.90	1.40
SO <sub>3</sub>	3.02	0.22
Cl <sup>-</sup>	0.04	0.00
CaO livre	1.43	0.00
Perda ao fogo	3.2	7.30
Resíduo insolúvel	0.90	–

Tabela 2 – Componentes potenciais do cimento.

Componente	C (%)
C <sub>3</sub> S	66.33
C <sub>2</sub> S	4.06
C <sub>3</sub> A	5.42
C <sub>4</sub> AF	9.94
C $\bar{S}$	5.13

Na Tabela 2 indicam-se os componentes potenciais do cimento, estimados de acordo com as expressões propostas por Bogue (1955). A Tabela 3 inclui as principais propriedades físicas do cimento e das cinzas volantes.

Tabela 3 – Propriedades físicas do cimento e das cinzas volantes.

Propriedade	C	CV
Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	3 120	2360
Superfície específica de Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	382.5	387.9
Finura – > 45 µm (%)	2.9	27.3
Exigência de água (%)	28.7	29.7

Nas amassaduras realizadas recorreu-se à adição de um superplastificante (SP) de última geração, à base de copolímeros, e com um teor de sólidos igual a 20%. Em trabalho prévio (Camões (2005)), constatou-se que a quantidade óptima de SP a introduzir na mistura (expressa em volume de partículas sólidas) situa-se no intervalo compreendido entre 0.5% e 1.0% do volume de ligante. Neste trabalho adoptou-se o valor de 1.0% para as composições testadas.

As composições dos betões produzidos apresentam-se na Tabela 4, bem como os resultados dos ensaios de abaixamento (SL) e espalhamento (F).

Tabela 4 – Composição e trabalhabilidade dos betões.

Composição	A/L	C (kg/m <sup>3</sup> )	CV (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Brita (kg/m <sup>3</sup> )	SL (mm)	F (mm)
C400	0.27	160	240	780	1170	185	480
C500	0.23	200	300	731	1097	175	470
C600	0.20	240	360	685	1027	195	510

As dosagens dos agregados foram determinadas experimentalmente de modo a maximizar a compacidade do esqueleto granular, tendo-se obtido uma relação Brita/Areia igual a 1.5. A razão água/ligante (A/L) adoptada para cada composição foi estabelecida por intermédio de amassaduras experimentais prévias, realizadas com o objectivo de obter um abaixamento similar em todas as composições de cerca de 185 ± 10 mm.

De cada uma das composições produzidas foram recolhidos provetes cúbicos de 100 mm de aresta e cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura com o objectivo de avaliar, respectivamente, a resistência à compressão e a resistência à tracção por compressão diametral. Para cada composição, foi ainda moldada uma placa de betão de modo a permitir a extracção de carotes, posteriormente submetidos a ensaios relacionados com a aferição de indicadores de durabilidade.

Após a betonagem, os provetes foram mantidos durante 48 horas a uma temperatura de 21 °C e 80% de humidade relativa. Decorrido esse período de tempo, os provetes foram desmoldados e conservados imersos em água à temperatura de 21 °C até à data de realização dos ensaios.

## 2.2. Procedimentos de ensaio

A resistência à compressão foi avaliada por intermédio de ensaios realizados em provetes cúbicos de 100 mm de aresta com base no preconizado pela EN 12390 3:2002. A resistência à tracção por compressão diametral foi determinada em provetes cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, conforme indicado na EN 12390 6:2000. Estas propriedades mecânicas foram avaliadas aos 7, 28 e 365 de idade. Aos 7 e aos 28 dias de idade foram ensaiados, por cada composição, 3 provetes e aos 365 dias 6 provetes.

A absorção de água por capilaridade foi determinada de acordo com o descrito na especificação do LNEC E393:1993, que é baseada na recomendação da RILEM CPC11.2.

Para cada composição foram submetidos a ensaio 4 provetes cúbicos de 100 mm de aresta aos 365 dias de idade.

A absorção de água por imersão sob vácuo foi também determinada (LNEC E395:1993) aos 365 dias de idade em 5 provetes caroteados com 45 mm de diâmetro e 40 mm de espessura.

A permeabilidade ao oxigénio e à água foi avaliada aos 365 dias de idade por intermédio de ensaios utilizando um permeâmetro desenvolvido na Universidade de Leeds (Cabrera (1999)). Este equipamento (ver Figura 1) permite que os provetes sejam submetidos a um fluxo em estado estacionário que os atravessa a uma dada pressão e durante um determinado período de tempo. Os mesmos provetes utilizados no ensaio de absorção de água por imersão foram, posteriormente, sujeitos ao ensaio de permeabilidade ao oxigénio e, seguidamente, ao ensaio de permeabilidade à água.

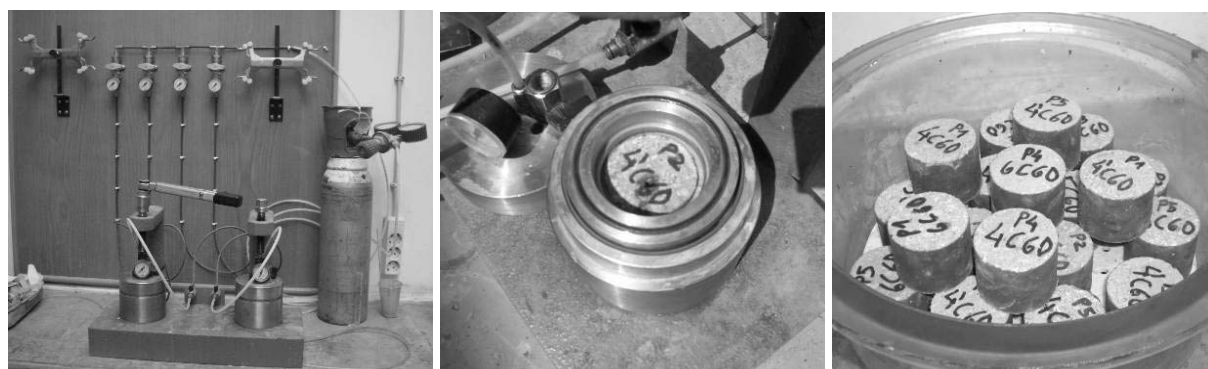


Figura 1 – Permeabilidade ao oxigénio e à água.

A resistência à penetração de cloretos foi determinada por intermédio de ensaios de migração em estado não estacionário, realizados com base no disposto na especificação do LNEC E463:2004, elaborada com base no método descrito na norma NT BUILD 492:1999 (ver Figura 2). A resistividade eléctrica foi determinada recorrendo à medição das intensidades de corrente verificadas no início dos ensaios de penetração de cloretos. Por cada uma das composições estudadas, foram ensaiados aos 365 de idade 4 carotes com 75 mm de diâmetro e 50 mm de espessura.



Figura 2 – Migração de cloretos (LNEC E463:2004).

### 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na Tabela 5 apresentam-se os principais resultados obtidos nos ensaios descritos. Para cada ensaio apresentam-se os valores médios obtidos, seguidos dos respectivos coeficientes de variação ( $\delta$ ).

Tabela 5 – Resultados experimentais.

	Idade (dias)	C400	C500	C600
Resistência à compressão $f_{cm,cubo}$ (MPa) / $\delta$ (%)	7	21.3/2.1	26.9/2.2	36.8/2.5
	28	33.9/5.4	47.0/0.1	52.8/2.0
	365	41.0/5.2	58.3/4.4	79.1/2.2
Resistência à tracção por compressão diametral $f_{ctm,sp}$ (MPa) / $\delta$ (%)	7	1.6/4.9	2.0/24.1	2.0/7.9
	28	1.8/14.7	2.0/8.9	2.8/2.8
	365	3.9/18.3	4.2/9.7	4.2/15.3
Coeficiente de absorção capilar $S_{cm}$ (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>0.5</sup> ) / $\delta$ (%)	365	0.046/9.7	0.047/11.8	0.046/6.3
Porosidade $P_m$ (%) / $\delta$ (%)	365	11.9/2.5	10.8/3.1	11.8/3.5
Coeficiente de permeabilidade ao oxigénio $K_{Om}$ (x10 <sup>-17</sup> m <sup>2</sup> ) / $\delta$ (%)	365	3.9/47.6	0.9/26.3	0.1/24.2
Coeficiente de permeabilidade à água $K_{Wm}$ (x10 <sup>-18</sup> m <sup>2</sup> ) / $\delta$ (%)	365	2.16/112.2	0.39/51.0	0.35/77.8
Coeficiente de difusão dos cloretos $D_m$ (x10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s) / $\delta$ (%)	365	0.96/21.0	0.60/26.9	0.53/54.6
Resistividade eléctrica $\rho_m$ (k $\Omega$ m) / $\delta$ (%)	365	1.09/58.0	1.42/62.9	1.52/37.2

#### 3.1. Resistência à compressão e resistência à tracção por compressão diametral

Na Figura 3 é possível observar a evolução das resistências mecânicas determinadas ao longo do tempo. Com base nos resultados obtidos, apresentados na Figura 3 e na Tabela 5, é possível constatar que é possível produzir um betão de moderada resistência à compressão contendo apenas 160 kg/m<sup>3</sup> de cimento e que atinge, aos 28 dias de idade, uma resistência à compressão de cerca de 35 MPa. É de realçar que este nível de resistência à compressão corresponde a um valor típico dos betões convencionais e que satisfaz as exigências da grande maioria das aplicações de betão. Aumentando a dosagem de cimento para 200 kg/m<sup>3</sup> ou 240 kg/m<sup>3</sup> (valores ainda reduzidos quando comparados com os empregues em betões convencionais), a resistência à compressão aos 28 dias de idade aumenta para cerca de 45 MPa ou 55 MPa, respectivamente.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tracção por compressão diametral podem ser considerados de acordo com o esperado, uma vez que são comparáveis com os normalmente obtidos em betões convencionais com resistência à compressão similar (ver Figura 4).

É importante salientar que a resistência à compressão deste tipo de betão, para além de garantir a obtenção de valores adequados aos 28 dias para a grande maioria das aplicações práticas, continua a evoluir consideravelmente ao longo do tempo devido à reacção pozolânica das cinzas volantes. Decorrido um ano de idade, os betões estudados atingiram aproximadamente 40 MPa, 60 MPa e 80 MPa de resistência à compressão.

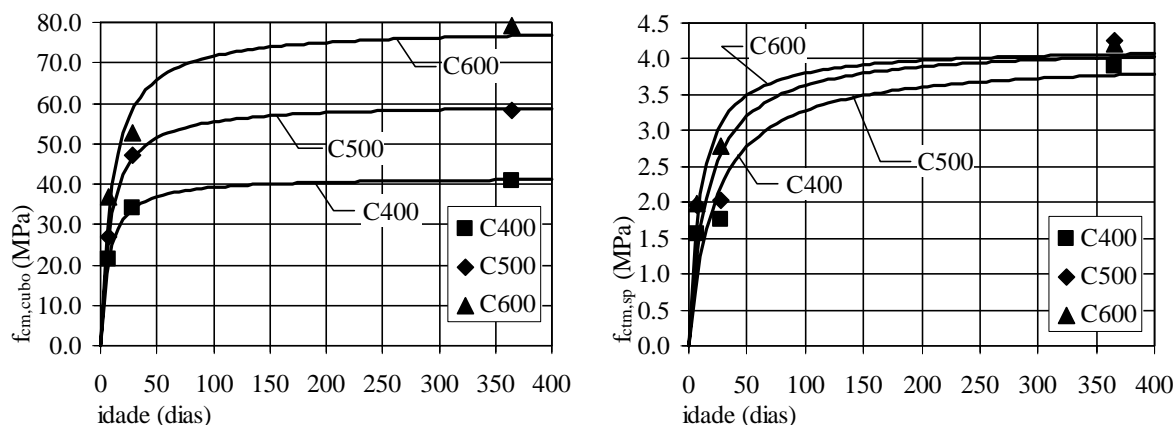


Figura 3 – Evolução com o tempo da resistência à compressão média ( $f_{cm,cubo}$ ) e da resistência à tracção por compressão diametral média ( $f_{ctm,sp}$ ).

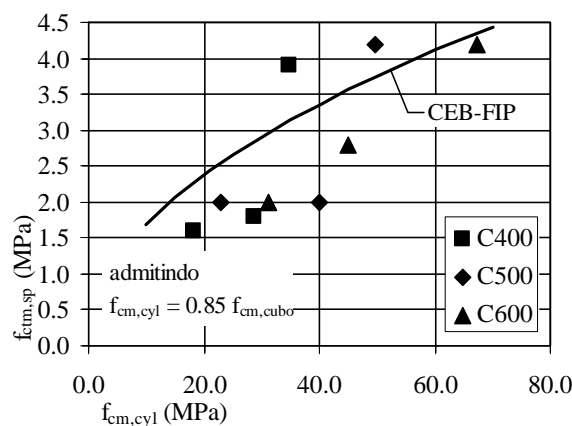


Figura 4 – Variação da resistência à tracção por compressão diametral média ( $f_{ctm,sp}$ ) com a resistência à compressão média determinada em provetes cilíndricos ( $f_{cm,cyl}$ ).

### 3.2. Absorção capilar e porosidade

Os resultados apresentados na Tabela 5 e na Figura 5, relativos ao ensaio de absorção de água por capilaridade, estão expressos pelo coeficiente de absorção capilar ( $S_c$ ) que corresponde ao declive da curva representativa da água absorvida por unidade de área *versus* a raiz quadrada do tempo durante as primeiras 4 horas de ensaio.

Por observação dos resultados obtidos, é possível constatar que o ensaio de absorção de água por capilaridade não permitiu distinguir os diferentes betões testados, não tendo sido sensível à variação da quantidade de ligante e da razão A/L dos mesmos. No entanto, os valores obtidos, que podem ser considerados extremamente reduzidos, mostram que estes betões apresentam uma tendência diminuta para absorver água por capilaridade. Como a absorção capilar é um mecanismo preponderante de entrada de água e de agentes agressivos através do betão, os betões em estudo podem ser consideradas como de elevada durabilidade.

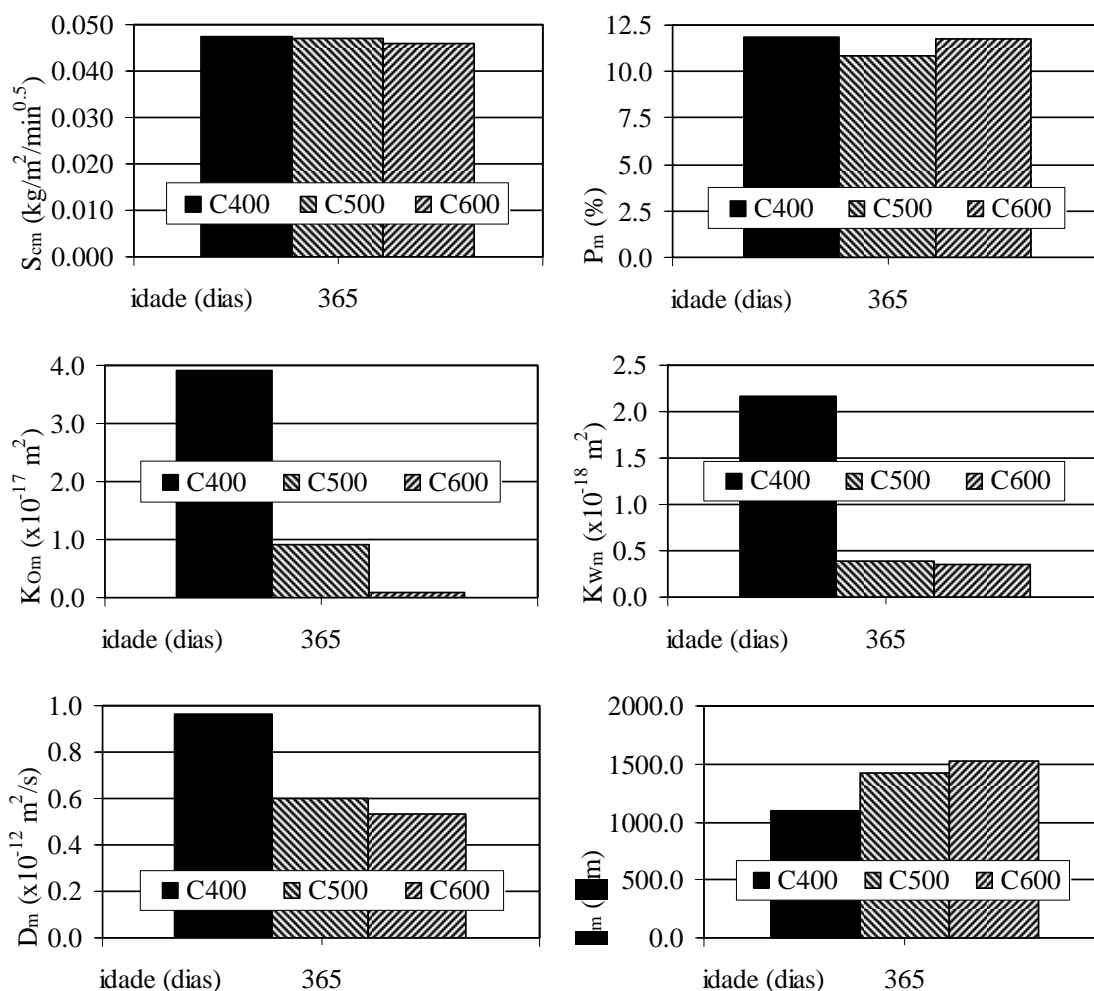


Figura 5 – Resultados dos ensaios de durabilidade.

Os resultados dos ensaios de absorção de água por imersão sob vácuo ( $P_m$ ) também não se revelaram sensíveis às diferentes composições testadas. Os valores alcançados atingiram valores relativamente elevados, nomeadamente quando comparados com os restantes indicadores de durabilidade determinados, o que parece indicar que estes betões têm uma porosidade aberta considerável mas que a rede de poros é discreta, ou seja, que há uma reduzida inter conectividade entre os poros. O elevado teor de carbono das cinzas volantes também pode justificar o ocorrido pois, como é sabido, as partículas de carbono apresentam uma grande apetência em absorver água.

### 3.3. Permeabilidade ao oxigénio e à água

Observando os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade ao oxigénio ( $K_{Om}$ ) e à água ( $K_{Wm}$ ), é possível constatar que o aumento da quantidade de ligante suscitou uma redução dos respectivos coeficientes de permeabilidade, influenciando favoravelmente o desempenho das composições. Este aspecto é aparentemente mais relevante quando a composição C400 é comparada com as restantes. Relativamente à permeabilidade à água, parece não haver ganhos significativos em aumentar a quantidade de ligante de 500 kg/m<sup>3</sup> (C500) para 600 kg/m<sup>3</sup> (C600). Os resultados obtidos, em geral, revelaram-se reduzidos e a relação entre eles consistente com a ordem de grandeza determinada em outros ensaios realizados com equipamento semelhante (Ferreira (2000)). Com base nos reduzidos valores



determinados é possível classificar os betões estudados como de elevada durabilidade à penetrabilidade dos fluidos testados.

### 3.4. Penetração de cloretos

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5 e na Figura 5, o coeficiente de difusão dos cloretos por migração ( $D_m$ ) diminui com o aumento da dosagem de ligante. Este efeito é mais pronunciado aquando do acréscimo de ligante de  $400 \text{ kg/m}^3$  para  $500 \text{ kg/m}^3$  do que de  $500 \text{ kg/m}^3$  para  $600 \text{ kg/m}^3$ . Atendendo aos resultados experimentais apresentados por GjØrv (1996), os valores de  $D_m$  determinados indicam que estes betões são dotados de uma extrema resistência à penetração de cloretos.

### 3.5. Resistividade eléctrica

A resistividade eléctrica foi determinada utilizando a intensidade de corrente inicial do ensaio de migração de cloretos. Os valores da resistividade eléctrica ( $\rho_m$ ) foram determinados de acordo com a lei de Ohm. A Tabela 5 e a Figura 5 mostram que, em geral, os resultados obtidos estão em concordância com os alcançados no ensaio de migração de cloretos. Os resultados demonstram que existe uma forte relação entre o coeficiente de difusão dos cloretos por migração ( $D_m$ ) e a resistividade eléctrica ( $\rho_m$ ) e que esta grandeza permite detectar as diferenças de resistência à penetração de cloretos associadas às diferentes quantidades de ligante e respectivas razões A/L usadas.

## 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que:

- É possível produzir betão de elevada trabalhabilidade com cerca de 35 MPa de resistência à compressão aos 28 dias de idade utilizando apenas  $160 \text{ kg/m}^3$  de cimento e  $400 \text{ kg/m}^3$  de ligante (C400). Uma vez que este valor de resistência à compressão é suficiente para cumprir os requisitos exigidos na grande maioria das aplicações práticas de betão estrutural, a necessidade de obtenção de níveis de resistência correntes não parece ser obstáculo à utilização mais generalizada deste tipo de betões;
- Aumentando a quantidade de ligante para  $500 \text{ kg/m}^3$  (C500) ou  $600 \text{ kg/m}^3$  (C600) e mantendo a percentagem de substituição de cimento por cinzas volantes de 60%, é possível garantir a obtenção de valores de resistência à compressão mais elevados, atingindo aos 28 dias de idade aproximadamente 45 MPa ou 55 MPa, respectivamente;
- Comparando este tipo de betão com o betão convencional, sem substituição de elevadas quantidades de cimento, constata-se que os betões com elevado volume de cinzas volantes se podem considerar vantajosos no que concerne ao desenvolvimento da resistência ao longo do tempo. Os resultados obtidos demonstram que é possível atingir resistências à compressão aos 365 dias de idade com cerca de 40 MPa (C400), 60 MPa (C500) e 80 MPa (C600);
- A incorporação de um superplastificante de última geração, à base de copolímeros, permitiu fabricar betões com elevado volume de cinzas volantes apresentando elevada trabalhabilidade, tendo ainda permitido reduzir significativamente a dosagem de água da amassadura. Foi possível produzir composições com abaixamento semelhante (cerca de 185 mm) e razões A/L extremamente reduzidas, variando entre 0.27 (C400) e 0.20 (C600);

- Todos os indicadores de durabilidade aferidos indicam que este tipo de betões apresenta elevada durabilidade, o que possibilita a sua classificação como betões de elevado desempenho.

Portanto, estes betões de elevado desempenho com elevado volume de cinzas volantes, dotados de elevada trabalhabilidade e incorporando materiais de baixo custo, nomeadamente cinzas volantes de qualidade reduzida, apresentam vantagens significativas quando comparados com os betões convencionais. Tendo em vista a generalização da sua aplicação, é importante realçar que, em geral, os requisitos relacionados com as características mecânicas são perfeitamente alcançáveis e que este tipo de betão permite erigir construções mais duráveis e contribuir de maneira significativa para a sustentabilidade da construção.

Contudo, deve ser salientado que os ensaios realizados não englobaram a totalidade das acções ambientais, nomeadamente a resistência ao gelo-degelo. Relativamente a este tipo de agressividade, será expectável que estes betões, devido ao elevado teor de carbono das cinzas volantes, não mantenham o mesmo nível de desempenho.

É também importante referir que as condições de cura reais em obra podem diferir consideravelmente das testadas, o que pode comprometer drasticamente o desempenho destes betões. Para que a aplicação em obra deste tipo de betões tenha sucesso é fundamental assegurar que a cura e conservação sejam particularmente cuidadas.

## 5. REFERÊNCIAS

- Bogue, R.H., *Chemistry of Portland Cement*, Reinhold, New York, USA (1955).
- Cabrera, J.G., Design and Production of High Performance Concrete, *Proceedings of International Conference, Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Improving the Quality of Life Through Better Construction*, Sheffield, U.K., 1-14 (1999).
- Camões, A., Aguiar, B. e Jalali, S., Durability of Low Cost High Performance Fly Ash Concrete, *Proceedings of IAUS 2003, International Ash Utilization Symposium*, Lexington, Kentucky, USA, em CD-Rom (2003).
- Camões, A., Ferreira, R.M., Aguiar, B. e Jalali, S., Durability of High Performance Concrete With Fly Ash, *Concrete for Extreme Conditions, Proceedings of the International Conference Challenges of Concrete Construction*, Dundee, Scotland, U.K. , 357-366 (2002).
- Camões, A., Influence of Mineral Admixtures in the Fresh Behaviour of Superplasticized Concrete Mixes, *Proceedings of INCOS'05, International Conference on Concrete for Structures*, Universidade de Coimbra, Portugal, 1-8 (2005).
- Ferreira, R.M., *Avaliação de Ensaio de Durabilidade do Betão*, Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal (2000).
- Gjorv, O.E., Performance and Serviceability of Concrete Structures in the Marine Environment, *Proceedings of Symposium on Concrete for Marine Structures*, Edit. P.K. Mehta, CANMET/ACI, 259-279 (1996).
- Malhotra, V.M. e Mehta, P.K., *High Performance, High Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories*, CANMET, Ottawa, Canada (2002).
- Mehta, P.K., Concrete Technology for Suitable Development, *Concrete International* 21 (11), 47-53 (Novembro 1999).